



Examensarbeten

2015:14

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag

Evaluating Wet Area Mapping (WAM) prediction of ground bearing capacity on forest soil near streams

Jon Wikström



Examensarbeten

Fakulteten för skogsvetenskap

Institutionen för skogens ekologi och skötsel

2015:14

Utvärdering av förmågan hos Wet Area Mapping (WAM) att beskriva markbärigheten på skogsmark intill vattendrag

Evaluating Wet Area Mapping (WAM) prediction of ground bearing capacity on forest soil near streams

Jon Wikström

Nyckelord / Keywords:

Miljöhänsyn, skogsbruk, Wet Area Mapping, körskador, markbärighet /
Environmental consideration, forestry, Wet Area Mapping, rutting, ground bearing capacity

ISSN 1654-1898

Umeå 2015

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i biologi / *Master degree thesis in Biology*

EX0769, 30 hp, avancerad nivå A2E/ *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: William Lidberg

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

Extern handledare / *External supervisor*: Axel Eriksson & Mattias Wåhlberg von Knorring,
Billerud Korsnäs AB

Examinator / *Examiner*: Tord Magnusson

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examiner. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

FÖRORD

Arbetet syftar till att, på uppdrag av BillerudKorsnäs AB, utvärdera hur de vattenkartor de använder sig av i den operativa verksamheten klarar att prediktera markbärigheten. Samt utifrån resultaten komma med förslag på hur vattenkartan kan utvecklas i riktning mot att bättre beskriva markbärigheten.

Arbetet är avgränsat till att analysera marker nära vattendrag som håller vatten året om, då dessa är av särskild biologisk betydelse.

Ett Stort Tack för hjälpen med att utföra denna studie riktas till; min Pappa Bo Wikström, William Lidberg & Anneli Ågren på SLU, Axel Eriksson & Mattias Wåhlberg von Knorring på BillerudKorsnäs AB samt Jenni Ljunglöf på COWI AS.

SAMMANFATTNING

Att påverka marker nära vattendrag och sjöar medför en särskilt stor risk att förorena och försämma vattenkvaliteten i vattendragen. Risken att påverka kvaliteten i vattnet är kopplat till markens fukthalt, bl. a. via att ökad fukthalt medför ökad risk för körsador. Ur biologisk synpunkt är vattendrag som är vattenförande året om särskilt känsliga. För skogsbruket utgör detta en utmaning, framförallt vid avverkning. Dessa utmaningar bedöms, via den globala uppvärmningens effekter i den boreala zonen, bli större då befintliga scenarion förutsäger mer nederbörd och kortare vintrar. Med nyligt framtagna vattenkartorna får planerare och andra verksamma ett hjälpmedel till att identifiera dessa vattendrag. I denna studie utvärderas förmågan hos en vattenkarta, som används av BillerudKorsnäs AB, att beskriva bärligheten på marker nära vattendrag. Fältdata till studien är insamlat söder om Gävle samt i Mora och i närheten av Orsa. Provytor lades ut längst transekter över vattendrag och markbärligheten, samt parametrar kopplade till markbärlighet, insamlades i varje provyta. Datat kopplades ihop med vattenkartan via GPS-koordinater tillhörande respektive provyta. Resultaten påvisar signifikant skillnad ($p < 0,05$) i markbärlighet mellan alla vattenkartans fuktklasser utom mellan klasserna "Torr" och "Frisk", där $p = 0,45$. Vattenkartan förklarar markbärligheten med en förklaringsgrad på ca 8 %. Vid utveckling av vattenkartans förmåga att beskriva markbärligheten nära vattendrag bör fokus ligga på att bättre fånga upp markfukten, medelsonddjupet och den organiska ythorisontens tjocklek, då dessa är de parametrar som beskriver markbärligheten bäst. Resultaten visar även att vattenkartan har svårt att fånga upp den naturliga variationen av parametrarna som finns i marken. För att förbättra säkerheten hos vattenkartans prediktioner föreslås därför att vidare studier undersöker fler parametrar, som beskriver markbärligheten, att inkorporera vid beredning av vattenkartan samt effekten av att kartan antingen delas upp i fler fuktklasser, gränserna för fuktklasserna flyttas, alternativt att de fuktklasser där ingen signifikans hittades slås samman.

Nyckelord: Miljöhänsyn, skogsbruk, Wet Area Mapping, körsador, markbärlighet

SUMMARY

Soil disturbance near streams and lakes entails a significant risk to contaminate and impair the water quality. The risk of affecting the quality of the water is associated to the soil moisture content of the ground, inter alia via the fact that an increase of soil moisture content entails increased risk of rutting damage. From a biological perspective, perennial streams are particularly sensitive. This constitutes difficulties for the forestry, especially during deforestation when soils wet up. These difficulties are expected to increase as a consequence of the prediction that, via global warming, the future will hold shorter winters and increased rainfall. Newly produced wet-area-maps (WAM) give planners and others a tool to identify these riparian wetlands. This study intends to analyze the capability of a WAM that BillerudKorsnäs uses to predict ground bearing capacity near streams. Field data were collected south of Gävle and areas surrounding Mora and Orsa. Sample plots were laid out along transects crossing streams and ground soil bearing capacity, along with other parameters correlated to ground bearing capacity, were collected for each sample plot. Field data were linked to the WAM via GPS-coordinates belonging to respectively sample plot. The results shows significant difference ($p < 0,05$) in ground bearing capacity between all soil moist classes of the WAM, except between the soil moist classes "Dry" and "Mesic" ($p = 0,45$). The WAM predicts the ground bearing capacity with a coefficient of multiple determination (Adj-R²) of circa 8 %. In terms of development of the WAMs capability to predict ground bearing capacity, focus should lie in better depicting of soil moisture, average sond soil depth and depth of the organic surface horizon, because these are the parameters that best describes the ground bearing capacity. The results also indicate that the WAM possesses difficulties in describing the natural variation of the parameters. To enhance the accuracy of the WAMs prediction it is proposed to study further into how to incorporate more parameters describing ground bearing capacity into the WAM, as well as creating more soil moist classes, relocate boundaries for the soil moist classes, or to merge those where no statistical significant difference in ground bearing capacity where found.

Key words: Environmental consideration, forestry, Wet Area Mapping, rutting, ground bearing capacity

INNEHÅLL

BAKGRUND	7
SYFTE/MÅL	10
MATERIAL & METODER	11
Parametrar	12
Förarbete data.....	14
RESULTAT	17
Vattenkartans förmåga att beskriva markbärighet.....	17
Markbärighet – Förklarande variabler	18
DISKUSSION	21
Resultatet	21
Parametrarna	23
Slutsats	24
REFERENSER	25

BAKGRUND

Våtmarker och strandområden intill vattendrag håller en mängd olika typer av ekosystem vilket gör dem till viktiga livsmiljöer för biologisk mångfald (Kuglerova, et al., 2014). Förlust av denna biodiversitet har potential att kosta oss dyrt då det riskerar försämra biologiska processer vi människor är beroende av, exempelvis produktion av rent vatten samt kol- och vattenretention (Bengtsson, et al., 2000). Studier har visat att markanvändning nära vattendrag ökade risken att påverka vattenkvaliteten i dem (Ahtiainen, 1991; Anon., u.d.; Larsson, 2014; Laudon, et al., 2009). Vidare förutsäger en samling olika klimatscenarioer att Sverige i framtiden kommer ha ett varmare klimat med kortare vintrar, vilket bland annat innebär kortare period med tjäle i marken. Scenarierna förutsäger även att det kommer bli blötare i och med en ökande nederbörd (SMHI, u.d.). Förändring av klimatet i den boreala zonen Sverige befinner sig i ökar risken för sänkt bärighet i marken (Edlund, 2012).

En faktor som är kopplad till ökad fukthalt i marken är risken för körsador, pga. att högre fukthalt i marken resulterar i lägre bärighet (Poršinsky, Pentek et al. 2012; Liu, et al., 2010). Vattenkvoten och vattenmättnadsgraden närmast markytan varierar under året, då de påverkas av nederbörd, torka och temperatur. I regel stiger de under vår och höst (Eriksson, 2015). Går man nedåt i jordhorisonten och tittar på hur vattenkvot och vattenmättnadsgrad ser ut just ovan grundvattnet påverkas värdena istället främst av den kapillära stighöjden, vilket är den höjd vattnet stiger med hjälp av ytspänningen (Larsson, 2008). En jordarts bärighet påverkas av dess vattenkvot, och framförallt finkorniga jordarter som morän, kan redan vid små variationer i vattenkvot få reducerad bärighet (Berglund, 2009). Om vattenmängden ökar i jordarten stiger porvattentrycket, detta leder i sin tur till minskad skjuvhållfasthet och därmed även minskad bärighet (Sällfors, 2009; Berglund, 2009). Denna påverkan ökar vid ökad kapillärl stighöjd (Larsson, 2008). På långvarigt fuktiga lokaler kan dock mineraljorden ligga relativt djupt. I landskapet finns utströmningsområden och inströmningsområden, på ett inströmningsområde infiltrerar nederbörd nedåt i marken för att bli grundvatten, som sedan rör sig vidare nedåt i terrängen. Ett utströmningsområde i sin tur, är lokala svackor i landskap med ojämn topografi där grundvattnet på sin väg mot sjöar och vattendrag tränger upp till markytan. Dessa områden kallas också för bland annat myrar och surdråg (Magnusson, 2009). Blötmarker och myrar samt kantzoner utmed bäckar har synnerligen låg bärighet (Ågren, et al., 2014).

Vid markanvändningsverksamhet som skogs- och jordbruk utgör våtmarker en utmaning (Moehring, 1970; Williamson & Neilsen, 2000), bland annat på grund av ökad risk för körsador (Poršinsky, Pentek et al. 2012). Det har exempelvis visats att fukthalten i marken signifikant påverkar spårbildning (Liu, et al., 2010) och att risken för körsador såsom jordkompaktion ökar av ökad fukthalt i marken (Klvac, et al., 2010; Poršinsky, Pentek et al. 2012). Magnusson (2009) hävdar vidare att ökad jordkompaktion, genom minskad infiltrationskapacitet in genom de övre jordlagren, i sin tur leder till ökad ytavrinning och erosion (Magnusson, 2009). Inom skogsbruk uppstår utmaningar ofta i samband med avverkningar då körsador kan leda till erosion, näringsläckage samt läckage av tungmetaller och andra suspenderade partiklar, något som studier visat begränsas av att spara en kantzon intill vattendraget (Anon., u.d.; Ahtiainen, 1991). Särskilt hög erosionsrisk hittas ofta i torvjordar och mineraljordar med stor andel finmo och mjäla (Magnusson, 2009). En skada av detta

slag är dessutom svår att reparera och försök att reparera skadan kan snarare förvärra situationen (Larsson, 2014; Staland & Larsson, 2002; Anon., u.d.) Av de negativa effekterna erosionen har på vattenekosystemen är det de suspenderade partiklarna som gör störst skada genom att de förändrar vattnets ljusförhållanden och de bottenlevande organismerna bokstavligen begravs (Magnusson, 2009). Vidare fastslås i en arbetsrapport från Skogforsk att körskador som leder till ökad utförsel av slam till vattendrag och sjöar (vattenhållande året om) eller skadar torvmark intill sjöar och vattendrag är att bedömas som allvarliga, medan körskador som inte uppstår nära vattendrag kan bedömas som mindre allvarliga (Figur 1) (såvida området inte har andra särskilda värden) (Berg, et al., 2010). Vid avverkning på dessa känsliga marker riskeras även att produktivitet och kostnad för avverkningsmaskiner påverkas negativt om inte optimal planering är möjligt (Nugent, et al., 2003; Akay, et al., 2007).

Körskador är även något som omnämns i PEFC-certifiering. Där fastslås bland annat att särskild hänsyn ska tas för att minimera körskador då man korsar vattendrag (PEFC, 2012). Liknande krav ställs även enligt FSC-certifieringen, vilken säger att åtgärder skall vidtas för att undvika markskador samt att man bör använda sig av lämplig teknik och metoder vid transport över vattendrag. Som exempel på markskador här nämns markskador som leder till erosion till vattendrag samt spårskador som påverkar vattenflödets riktning (FSC, 2010). I Sveriges Skogsvårdslag, under 30§ 7 Kap. Föreskrifter och allmänna råd, beskrivs hur man vid anläggningar av skogsbilvägar ska agera för att undvika att vattendrags naturliga botten förändras eller att vandringshinder uppstår, samt att allvarliga körskador ska förhindras. Under definitionen till allvarlig körskada (Figur 1) nämns här bland annat körskador som; leder till skadlig utförsel av slam till sjöar och vattendrag, ändrar vattendragets sträckning, skadar torvmark i anslutning till sjöar -och vattendrag samt körskador som orsakar försumpning invid -eller dämning av vattendrag (Skogsvårdslagstiftningen, 2012).



Figur 1. Exempel av oacceptabel körskada (vänster) där slamtransporten via diket leds till vattendraget i bakgrunden. Acceptabel körskada (höger) där spåren visserligen ökar risken för erosion, men inget vattendrag finns att transportera slammet till.

Figure 1. Example of an unacceptable soil damage (left) where sediment transports, via the ditch, lead directly into the lake in the background. And an acceptable ground damage (right) where the tracks, while increasing the risk of erosion, don't transport the sediment to any adjacent stream or lake.

För att agera på ett uthålligt sätt är det nödvändigt att ta specifik hänsyn till dessa våtmarker (Turner, et al., 2000; Kuglerova, et al., 2014), vilket gör det viktigt att planerare mm. har rätt verktyg till hjälp

för att minimera risken att påverka dessa hydrologiska utsatta områden (Murphy, et al., 2009). Ett sådant verktyg är en vattenkarta som en WAM-karta* (Wet Area Mapping) som beräknas med hjälp av LiDAR-data (Light Detection and Ranging) (White, et al., 2013).

Vattenkartan som analyseras i detta arbete är framtagen av COWI AS, som bland annat levererar vattenkartor till Bergvik Skog, vilka i sin tur tillhandahåller vattenkartor till BillerudKorsnäs. Slutanvändaren i detta fall använder sig av vattenkartan bland annat som hjälpmedel för att identifiera känsliga marker vid avverkning.

*Den WAM som analyseras i denna studie bygger på den teori som presenteras i (Ogilvie, et al., 2011).

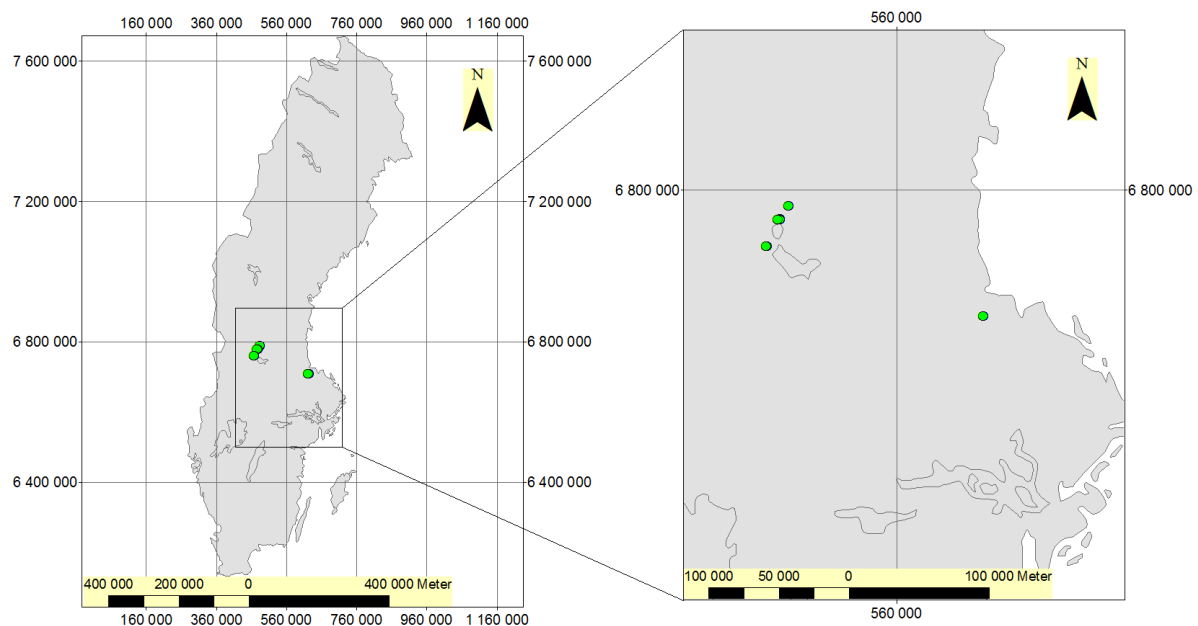
SYFTE/MÅL

Syftet med detta examensarbete är att utvärdera om de vattenkartor BillerudKorsnäs använder sig av kan användas för att beskriva markbärigheten nära vattendrag.

- Frågeställning:
- 1) Kan man använda vattenkartan för att förutsäga markbärigheten nära vattendrag?
 - 2) Om inte, vad man bör fokusera på vid utveckling av kartan för att optimera kartans möjlighet att förutsäga markbärigheten nära vattendrag?

MATERIAL & METODER

Fältdata till arbetet är insamlat söder om Gävle samt i Mora och i närheten av Orsa (Figur 2) under månadsskiftet augusti/september 2014. Inventerade vattendrag skulle vid tidpunkt för inventering uppfylla följande kriterier; lokaliserat i Mellansverige, lokaliserat där Telias mobilnät har 4G-täckning, beläget på moränmark, samt att det finns vattenkartor tillgängliga över områdena. Inventerade vattendragen skulle även vara vattenförande året om. För att säkerställa att dessa kriterier nåddes studerades täckningskartor från Telia samt Lantmäteriets jordartskarta. Inventeringen utfördes under årets torraste period och därmed antogs kriteriet att vattendragen är vattenhållande året om som uppfyllt. Vid tidpunkten för val av vattendrag kunde det inte fastställas att de markerade vattendragen faktiskt höll vatten, och i den östra delen var endast ett av dem vattenförande. I den västra delen var dock alla i förväg utvalda vattendragen vattenförande.



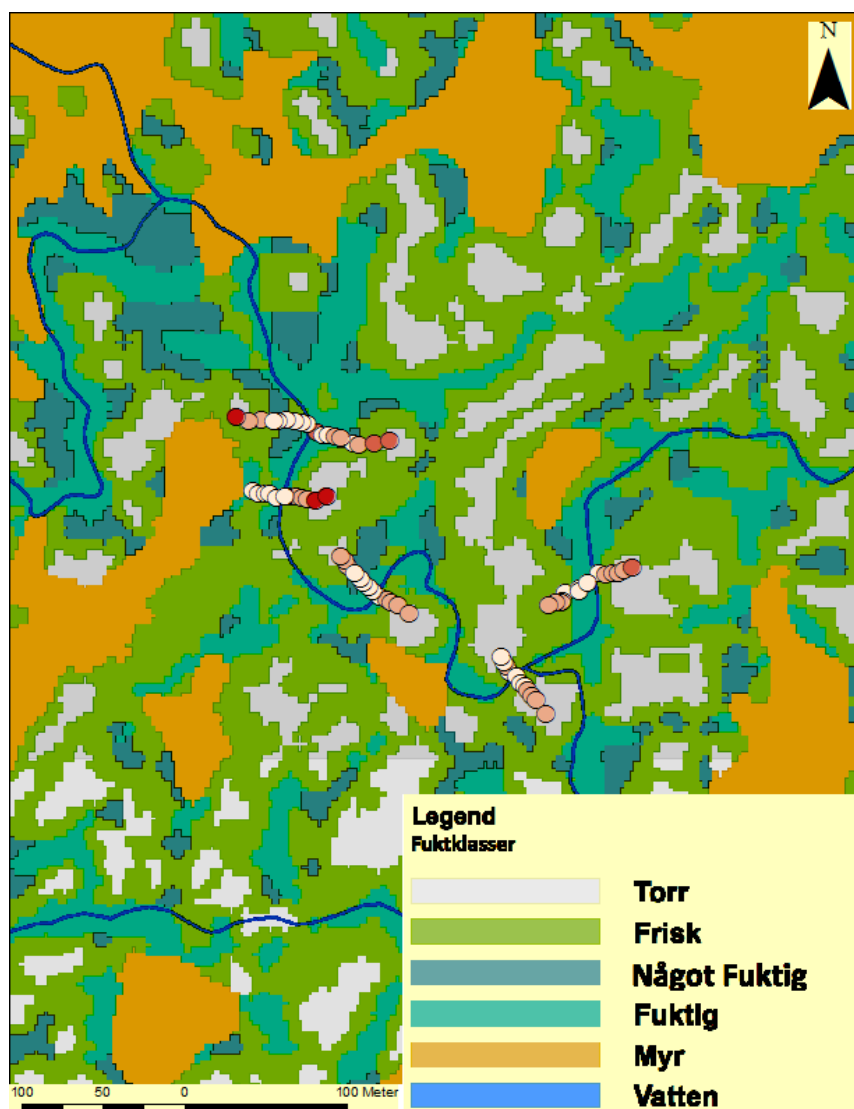
© Lantmäteriet

Figur 2. Studielokal. Gröna cirklar markerar inventerade områden.

Figure 2. Location of study area, green dots show location of stream transects inventories.

De parametrar som ingått i inventeringen, förutom markbärigheten, valdes ut med tanken att de påverkar bärigheten i marken samt att de bör vara relativt tidseffektiva att mäta. Valda parametrar var; markbärighet, markfuktighet, markfuktighetsklass enligt Fältinstruktion 2013 - Riksinventeringen av Skog (RIS), den organiska ythorisontens tjocklek (hädanefter även kallad organisk horisont), och medelsonddjup. Under inventeringen lades 3-5 transekter ut vid varje vattendrag, med ca 50 m mellanrum. Längs transekterna registreras ovan nämnda faktorer i ytor på 2x2 meter, med ett mellanrum på 4 meter (i vissa fall 10 meter mellanrum, då i slutet av transekten). För varje provyta längs transekterna registreras även GPS-koordinater. Provytorna lades som ett lager ovanpå

vattenkartan (Figur 3) för att identifiera vilken av kartans fuktklass som respektive provyta befann sig inom.



Figur 3. Provytorna längst transekten representeras av cirkarna, mörkare nyans av rött indikerar högre markbärighet. Bäck (blå linje) är inlagd från fastighetskartan. Bakgrundskarta är studerad vattenkarta.

Figure 3. Sample plots along the transect represented by circles, darker shade of red indicate higher ground bearing capacity. The stream (blue line) added from property map. Background map is studied WAM.

Parametrar

Vid registrering av fukthalt har fukthaltsmätare ThetaProbe ML2x använts. Instrumentet utför mätningarna med metoden time-domain reflectometry (TDR) (Miller & Gaskin, 1996), där impedansen används för att beräkna fukthalten. Instrumentet består av en 100 MHz sinusoidal oscillator kopplad till mätkretsar samt ett mät huvud med fyra metallstavar, där tre stycken stavar omringar den fjärde. De tre omringande metallstavarna bildar en elektrisk sköld runt den centrala, vilket bildar ytterligare en transmissionsledning. Denna ytterligare transmissionsledning har en impedans som bestäms av den relativa permittiviteten av materialet som omger stavarna. När

signalen som sänds ut från den centrala staven registreras kommer, beroende på impedansen, en del av signalen reflekteras. Reflektionen påverkar den infallande signalen och via skillnaden i amplitud hos signalen kan vattenhalten räknas ut.

Markbärigheten har registrerats med en modifierad Schweizisk Rammsond, vilken består av två delar; Ett ihåligt aluminiumskaft, och en fallvikt. Aluminiumskaftet, som är försett med ett måttband, har en ytterdiameter på 20 mm. På änden av skaftet sitter en metallkon med en lutning på 53°, konens diameter är 40 mm. Massan på aluminiumskaftet är 14,17 N. Fallviktens massa är 40,45 N och sitter monterat på toppen av en metallstav med 12 mm i diameter. På metallstaven finns en markering 40 cm från fallvikten. Rammsonden fungerar så att metallstaven med fallvikten förs in i aluminiumskaftet och släpps från markeringens höjd 5 gånger i följd, därefter registreras med hjälp av måttbandet hur långt konen penetrerat marken. Utan att lyfta aluminiumskaftet upprepas proceduren tre gånger per mättillfälle. Registrering av konens penetration utförs således tre gånger per mättillfälle. Via ekvation 1 (Bodin, 1999) fås markbärigheten på mätlokalen. I detta arbete har ett medelvärde av de tre använts.

$$p = \frac{\frac{W \cdot h \cdot n}{z} + W + Q}{A} \quad (\text{Ekvation 1})$$

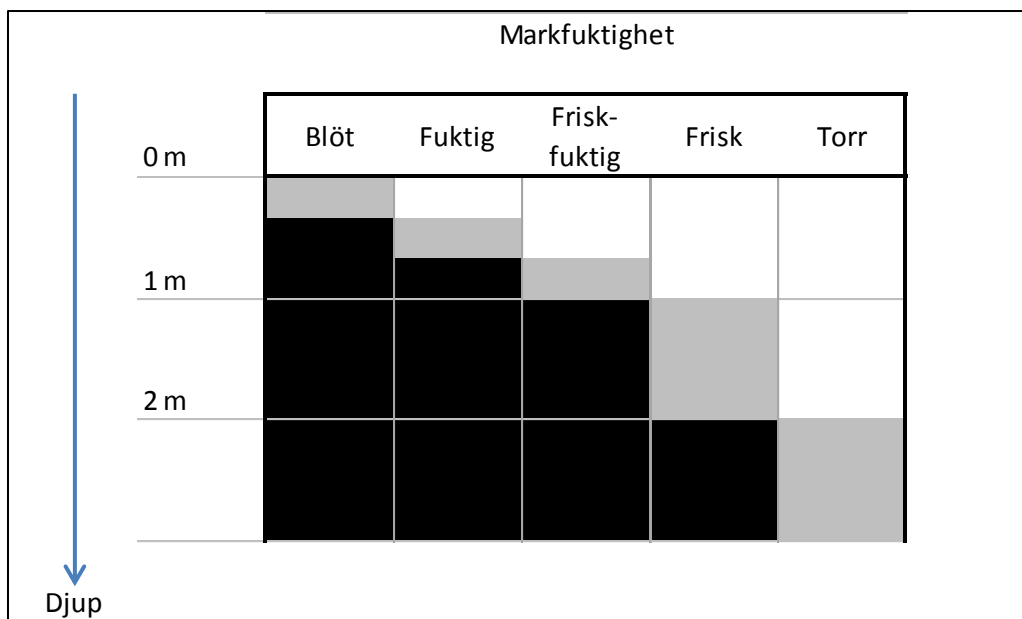
Där:

p	Marktryck [Pa]
W	Fallviktens vikt [N]
h	Fallviktens fallhöjd [cm]
n	Antal fall med fallvikten
Q	Aluminiumskaftets vikt [N]
A	Konens basyta [m ²]

Markfuktigheten i jorden klassas enligt Fältinstruktion 2013 - Riksinventeringen av Skog (RIS) (SLU, 2013) in i en av fem fuktklasser (1 -5), där:

Torr mark	=klass 1
Frisk mark	=klass 2
Frisk-fuktig mark	=klass 3
Fuktig mark	=klass 4
Blöt mark	=klass 5

Dessa fuktklasser bedöms i första hand genom en skattning av djupet till grundvattenytans genomsnittliga nivå under vegetationsperioden (SLU, 2013) (Figur 4). Påpekas bör att denna teori skiljer sig från den som en Wet Area Mapping bygger på (Ljunglöf, 2015).



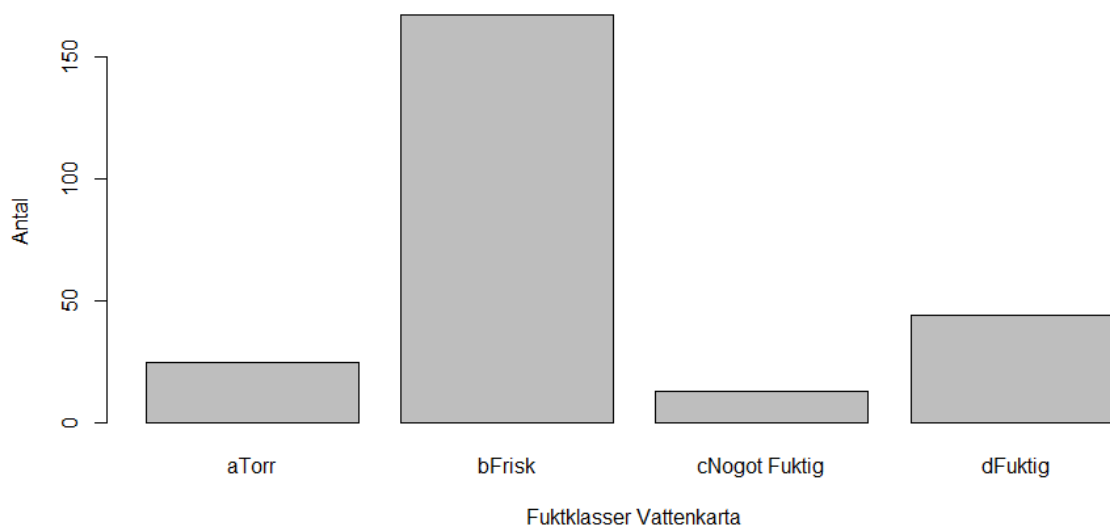
Figur 4. Schematisk skiss av djupet till grundvattenytans genomsnittliga nivå under vegetationsperioden. Grundvattenzon i svart och grundvattenytans fluktuation i grått.

Figure 4. Schematic image of average depth-to-water during vegetation period. The groundwater zone is shown in black and its fluctuation in grey.

Med hjälp av en 80cm lång jordsond mättes den organiska ythorisonten. Detta genom att sticka ned jordsonden i marken och registrera den organiska ythorisontens tjocklek. Genom att föra ned jordsonden så långt det gick nio gånger per provyta, och ta medelvärdet av detta, erhöles en indikation på andelen rötter, block mm. som armerar de översta 80 cm av jorden, inom respektive provyta. Denna parameter kallas i studien för medelsonddjup. För bestämning av koordinater användes en Trimble GeoExplorer, provytorna har en positioneringsmarginal på ca en meter. Den sista parametern är fuktklasserna från vattenkartan (Figur 3). Kartan är uppdelad i fem fuktklasser (exklusive klassen "vatten"). Fuktklasserna är; Torr, Frisk, Något fuktig, Fuktig och Myr. Vattenkartan har en digital terrängmodell i grunden, ur denna beräknas vattenflöden, uppsamlingsarealer, lutningar mm. fram. Dessa utgör sedan basen i nästa steg i processen, där extrapolering via analys av konkavitet och konvexitet ger markfuktigheten i kartan. Genom kunskap om hur vatten rör sig nära vattendrag, myrar, långa flacka sluttningar etc. resulterar processen i vattenkartans fuktklasser. Även kända faktorer som myrar och steniga, torra områden används som input för att förbättra analysen, där dessa är tillgängliga (Ljunglöf, 2015).

Förarbete data

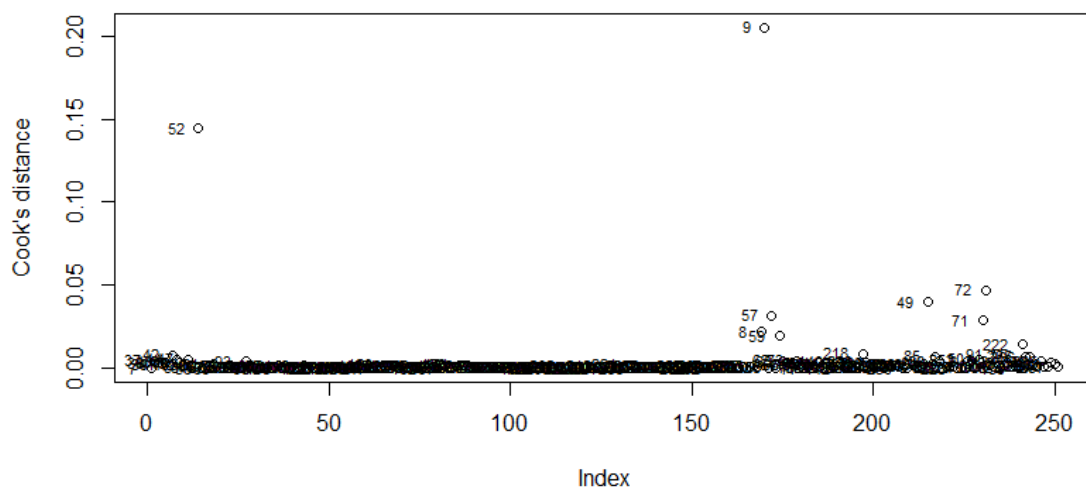
Innan analysen påbörjades sorterades de ofullständiga provytorna bort, efter detta återstod 252 av de 324 inventerade ytorna. Anledningar till att vissa provytor uteslöts är att de bedömts som ej fullständig på grund av avsaknad av GPS-koordinater eller att någon av de uppmätta parametrarna saknats. En (1) provyta uteslöts på grund av att den var den enda som hamnade fuktklassen "Myr". Av de kvarvarande 251 ytorna hamnade en förhållandevis hög andel på vad som i vattenkartan klassades till Frisk mark (Figur 5).



Figur 5. Antal provytor i vattenkartans respektive fuktklass.

Figure 5. Distribution of sample plots in the respective soil moist-classes of the WAM.

I sektion 1 (*Vattenkartans förmåga att beskriva markbärighet*) av analysen skapades, via ANOVA-variansanalys (Chatterjee & Hadi, 2006), en modell som utifrån fältmätt markbärighet och studerad vattenkarta skattar markbärigheten inom vattenkartans olika fuktklasser. Modellen kan med endast vattenkartan som förklarande variabel skatta markbärigheten inom klasserna. Här undersöktes även den statistiska signifikansen för skillnaderna i markbärighet mellan de olika fuktklasserna. Dessutom analyserades hur mycket av variationen i skattad markbärighet inom vattenkartans olika fuktklasser som kan förklaras av vattenkartan. För bedömning om statistisk signifikans användes ANOVA-variansanalys och Tukey's HSD (honest significant difference) test. Vid denna analys visade det sig att datat hade två stycken "outliers". Dessa identifierades genom att titta på Cook's distance (figur 6). Chatterjee & Hadi (2006) föreslår att studera cook's distance grafiskt för att identifiera punkter som avviker från mängden, snarare än att använda sig av ett fast gränsvärde (Chatterjee & Hadi, 2006). I detta data-set visade Cook's distance test att punkterna med Objekt. ID 52 och 9 avvek från resten av insamlat data.



Figur 6. Cook's distance för modellen som beskriver markbärigheten, numren visar respektive punkts Objekt ID. Figuren indikerar att provytorna med Objekt ID 52 & 9 är outliers.

Figure 6. Cook's distance plotted for estimation of ground bearing capacity. Numbers represents Object ID for respective sample plot. Object ID 52 and 9 is flagged as outliers.

De avvikande punkterna uteslöts från vidare analys. Dock visade studier av residualerna från kvarvarande data-set på brott mot antagandet om normalfördelning, som gäller vid linjärregression (Chatterjee & Hadi, 2006). Residualerna visar sig vara "högervridna", och för att åtgärda detta kan man enligt Helsel & Hirsch, (2002) använda sig av "Ladder of Powers" för att analysera och hitta lämplig transformation (Helsel & Hirsch, 2002). Antagandet om normalfördelning uppfylldes efter log-transformering. För att avgöra hur mycket av variationen i fältmätt markbärighet som förklaras (ajd- R^2 -värde) av vattenkartan skapades en modell med Ordinary Least Square Regression (OLS) (ekvation 2). Till detta användes samma data-set och transformation, då antagandena är uppfyllda även för OLS-regression. Vattenkartans fuktklasser rankades från 1 – 4 (torr – fuktig) och konverterades till en numerisk variabel istället för text.

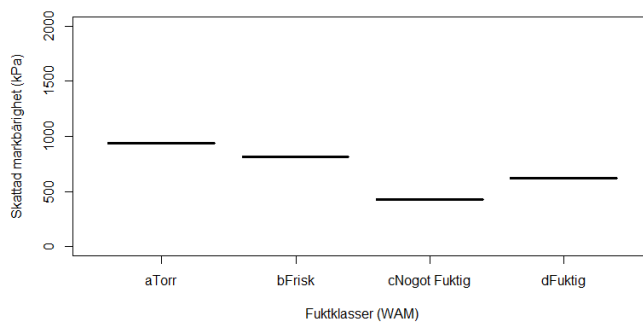
I sektion 2 (*Markbärighet – Förklarande variabler*) av analysen studeras vilka av de insamlade parametrarna som beskriver markbärigheten bäst, samt vilka parametrar vattenkartan beskriver bäst. Detta genom att först studera parametrarnas korrelation till markbärigheten respektive vattenkartan. De parametrar som korrelerade bäst studerades närmare. Vid analys av vilka parametrar som beskriver markbärigheten bäst skapades modeller där de utvalda parametrarna står som förklarande variabel till responsvariabeln markbärigheten. Vid denna analys återfanns ännu en outlier, vilken uteslöts ur data-setet för just den modellen. Vid analys av vilka parametrar som vattenkartan beskriver bäst skapades modeller där vattenkartan står som förklarande variabel till respektive parameter. I övrigt har transformation enligt "Ladder of powers" använts vid behov. För modellen där markfukten förklaras av vattenkartan (ekvation 6) uppnåddes dock inte normalfördelning av residualerna.

RESULTAT

Vattenkartans förmåga att beskriva markbärighet

Statistiskt signifikant skillnad i markbärighet fanns mellan vattenkartans fuktklasser förutom mellan klasserna "Torr" och "Frisk" (Tabell 3), där $p=0,45$. De skattade värdena för markbärighet som modellen resulterade i (Figur 7) för respektive fuktklass blev:

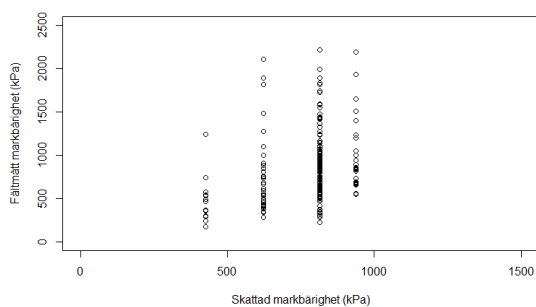
Torr	= 937 kPa
Frisk	= 814 kPa
Något Fuktig	= 426 kPa
Fuktig	= 623 kPa



Figur 7. Skattade markbärighet för vattenkartans fuktklasser.

Figure 7. Estimated ground bearing capacity for each of the soil moist classes from the WAM.

Jämförs skattad & fältmätt markbärighet visas vilken spridning som finns inom vattenkartans respektive fuktklass (Figur 8). Rent visuellt visas att spridning är lägst hos skattningen av låg markbärighet, vilken tillhör fuktklassen "Något Fuktig". Näst lägst spridning har skattning av hög markbärighet, tillhörande fuktklassen "Torr". Mittenpartiet, tillhörande fuktklasserna "Frisk" respektive "Fuktig", har däremot större spridning inom skattningarna.



Figur 8. Fältmätt markbärighet på y-axeln plottat mot skattad markbärighet på x-axeln.

Figure 8. Field measured ground bearing capacity (y-axis) plotted against estimated ground bearing capacity (x-axis).

Via OLS-regression (ekvation 2) fås en förklaringsgrad på ca 8 % (adj-R²=8, 3 %), med signifikans på koefficienterna (p < 0,05) för interceptet samt variabeln "Fuktklass (WAM)".

$$\log\text{Markbärighet} = 7,002 \times -0,159 \times \text{Fuktklass (WAM)} \quad (\text{Ekvation 2})$$

Markbärighet – Förklarande variabler

Bäst korrelation (R) (utan transformation) med markbärigheten hade; markfukt, medelsonddjup och organisk horisont (Tabell 1). De tre modellerna (ekvation 3, 4 och 5) hade en förklaringsgrad på; adj-R²=41 % (ekvation 3), adj-R²=45 % (ekvation 4) och adj-R²=40 % (ekvation 5). Statistisk signifikans (p < 0,05) uppnåddes för såväl intercept som förklarande variabel. Eftersom en outlier uteslöts vid ekvation 5 gjordes ett nytt korrelations-test, vilket visade på en korrelation på R=-0,63.

$$\log\text{Markbärighet} = 7,101 \times -0,009 \times \text{Markfukt} \quad (\text{Ekvation 3})$$

$$\log\text{Markbärighet} = 7,142 \times -0,018 \times \text{Medelsonddjup} \quad (\text{Ekvation 4})$$

$$\log\text{Markbärighet} = 6,903 \times -0,015 \times \text{Organisk horisont} \quad (\text{Ekvation 5})$$

Tabell 1. Intercept och regressionskoefficienter, med p-värden för dessa samt förklaringsgrad (adj-R²) för ekvation 3, 4 och 5. Längst till höger korrelationen (R) mellan förklarande variabeln och otransformerad responsvariabel.

Table 1. Adj-R² (%), intercepts and coefficients, with P-values, for in equation 3, 4 and 5. Correlation (R) between explanatory variable and untransformed response variable to the right.

Responsvariabel	Förklarande- variabel	Värde	P-värde (Pr(> t))	Adj-R ² (%)	R (till Markbärighet)
logMarkbärighet	Intercept	7.101	<0,05	41	-0.57
	Markfukt	-0.009	<0,05		
logMarkbärighet	Intercept	7.142	<0,05	45	-0.56
	Medelsonddjup	-0.018	<0,05		
logMarkbärighet	Intercept	6.903	<0,05	40	-0.47
	Organisk horisont	-0.015	<0,05		

*Nytt korrelationsvärde efter outlier uteslutits

Bäst korrelation (R) (utan transformation) med vattenkartan hade; markfukt, medelsonddjup och fuktklass enligt RIS (Tabell 2). De tre modellerna som skapades med vattenkartan som förklarande variabel (ekvation 6, 7 och 8), hade alla statistisk signifikans ($p < 0,05$) för såväl intercept som förklarande variabler (tabell 2). Förklaringsgraden för modellen där markfukten förklaras (ekvation 6) låg på $\text{adj-}R^2 = 9\%$ och där medelsonddjupet är responsvariabel (ekvation 7) blev $\text{adj-}R^2 = 21\%$. Modellen där RIS-klassningen förklaras (ekvation 8) hade en förklaringsgrad på 14% (tabell 2).

$$\text{Markfukt} = 22,682 \times 11,152 \times \text{Fuktklass (WAM)} \quad (\text{Ekvation 6})$$

$$\text{Medelsonddjup} = 6,748 \times 9,151 \times \text{Fuktklass (WAM)} \quad (\text{Ekvation 7})$$

$$\text{Fuktklass (RIS)} = 2,649 \times 0,297 \times \text{Fuktklass (WAM)} \quad (\text{Ekvation 8})$$

Tabell 2. Intercept och regressionskoefficienter, med p-värden för dessa samt förklaringsgrad ($\text{adj-}R^2$) för ekvation 6, 7 och 8. Längst till höger korrelationen (R) mellan förklarande variabeln och responsvariabel.
Table 2. $\text{Adj-}R^2$ (%), intercepts and coefficients, with P-values, for in equation 6, 7 and 8. Correlation (R) between explanatory variable and response variable to the right.

Responsvariabel	Förklarande variabel	Värde	P-värde ($\text{Pr}(> t)$)	Adj- R^2 (%)	R (till vattenkartan)
Markfukt	Intercept	22.682	< 0,05	9	0.37
	Fuktklass (WAM)	11.152	< 0,05		
Medelsonddjup	Intercept	6.748	< 0,05	21	0.33
	Fuktklass (WAM)	9.151	< 0,05		
Fuktklass (RIS)	Intercept	2.649	< 0,05	14	0.41
	Fuktklass (WAM)	0.297	< 0,05		

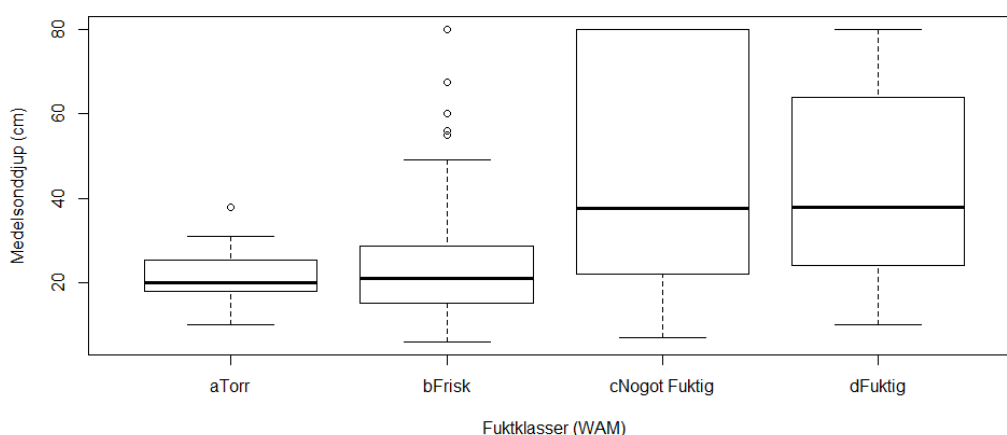
ANOVA-analys visade statistiskt signifikant skillnad mellan två eller fler av vattenkartans fuktklasser och fältmått; markbärighet, markfukt, medelsonddjup samt fuktklassificering enligt RIS ($p < 0,05$). TukeyHSD - test visade att endast markbärigheten nådde signifikant skillnad mellan fuktklasserna "Något fuktig" "Fuktig". Mellan klasserna "Torr" & "Frisk" visade testet signifikant ingen skillnad för parametrarna markbärighet och medelsonddjup (tabell 3).

Tabell 3. TukeyHSD-test mellan de studerade parametrarna och fuktklasserna från vattenkartan. Fet stil markerar parameter som ej hade signifikant skillnad mellan gällande fuktklasser från vattenkartan.

Table 3. TukeyHSD-test between studied parameters and the soil moist classes of the WAM. Boldface text indicates parameters which did not show significance between respectively soil moist classes.

Fuktklasser (WAM)			Parametrar (p-värde)			Fuktklassning RIS
			Markbärighet	Markfukt	Medelsonddjup	
Torr	-	Frisk	0.447	<0.05	0.911	<0.05
Frisk	-	Något Fuktig	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Något Fuktig	-	Fuktig	<0.05	0.348	0.887	0.430

Spridningen av provytornas medelsonddjup inom vattenkartans olika fuktklasser är minst inom klassen "Torr" och "Frisk", medan den är relativt stor inom både klasserna "Något Fuktig" och "Fuktig" (Figur 9). Medelsonddjupet liknar alltså varandra inom klasserna "Torr" & "Frisk" respektive "Något Fuktig" & "Fuktig".



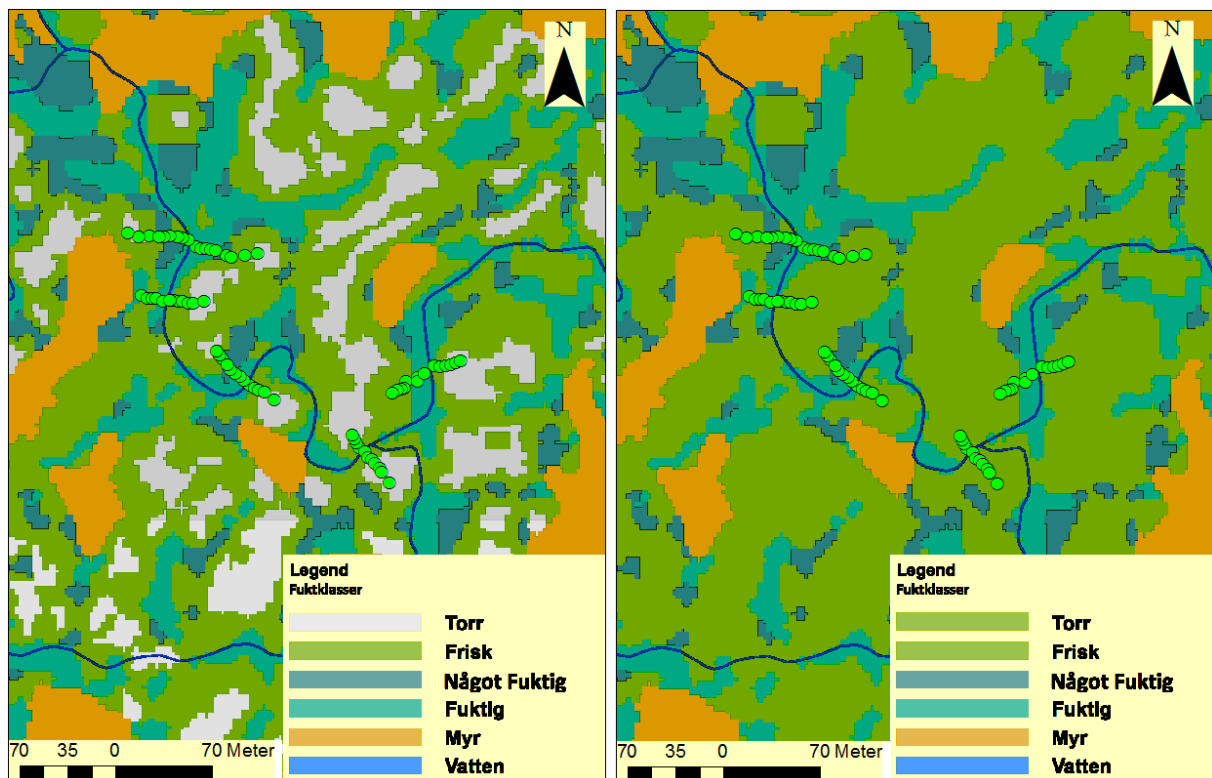
Figur 9. Spridning av provytornas medelsonddjup inom vattenkartans respektive fuktklass. Relativt liten spridning inom fuktklasserna "Torr" och "Frisk".

Figure 9. Fluctuation of the Average soil depth within the sample plots in respectively soil moist class of the WAM. Relatively low fluctuation can be seen in the soil moist classes "Dry" and "Mesic".

DISKUSSION

Resultatet

Syftet med detta arbete var att utvärdera om den vattenkarta BillerudKorsnäs använder sig av kan användas till att förutsäga markbärigheten nära vattendrag. Resultaten påvisar att den kan det, då statistisk signifikant skillnad i markbärighet visades mellan vattenkartans fuktklasser, med reservation för fuktklasserna "Torr – Frisk". Det innebär att fuktklasserna "Torr" och "Frisk" skulle kunna slås samman om vattenkartan, med befintlig klassindelning, ska användas som hjälpmedel att identifiera god markbärighet (eller undvika dålig) (Figur 10). Detta blir dock av mindre betydelse sett till att vattenkartan i detta fall skulle användas för att skydda de känsliga strandnära områdena, vilka relativt sällan befinner sig på dessa fuktklasser (figur 3, figur 10).



Figur 10. Vattenkartan (t.v.) kan, vid beskrivning av markbärigheten med hjälp av den, modifieras så att klasserna "Torr" & "Frisk" slås samman (t.h.).

Figure 10. If the WAM (left) was to be used for prediction of ground bearing capacity, it could be modified so that the soil moist class "Dry" & "Mesic" are merged into one (right).

Vattenkartans styrka, när det kommer till att beskriva markbärigheten nära vattendrag, visade sig ligga i att beskriva låg markbärighet. Den låga markbärigheten representerades främst av vattenkartans fuktklass "Något Fuktig" och inte i klassen "Fuktig". Förklaringen till detta ligger delvis i att närmast vattendraget, där fuktklassen "Fuktig" dominerade, saknades ofta organisk ythorisont. Mätningen av markbärighet skedde således således direkt på stenar och mineraljord. På övrig mark fanns

oftast ett mer eller mindre tjockt lager organiskt material som rammsonden penetrerade utan större problem, vilket bidrog till lägre bärighet på dessa marker. Dessutom visades, efter kontroll av rådatat, att flertalet av provytorna som låg inom fuktklassen "Något fuktig" registrerats med en markfuktighetsklass= 5 enligt RIS, samt med tillhörande noteringar som "surhål" och "svacka" i närheten av några. Detta är något som potentiellt även påverkar övriga parametrar.

Gällande vattenkartans förmåga att förklara variationen i markbärighet nära vattendrag, kan den med studiens modell förklara ca 8 %. Alltså förklaras ca 92 % av något annat. Det betyder att fuktklasserna inte klarar av att fånga upp den naturliga variationen i markbärighet som finns i marken. Att förklaringsgraden inte är högre torde främst ha sitt svar i att fler parametrar påverkar markbärigheten. Resultaten visar att det är, av de studerade parametrarna; medelsonddjup ($\text{ajd-R}^2=45\%$), markfuktighet ($\text{ajd-R}^2=41\%$) och organisk ythorisont ($\text{ajd-R}^2=40\%$) som förklarar markbärigheten nära vattendrag bäst. Dessa är därför de parametrar som bör försöka fångas upp för att beskriva markbärigheten på bästa sätt. Av de modeller som skapades med vattenkartan som förklarande variabel hade modellen som predikterade medelsonddjupet högst förklaringsgrad ($\text{adj-R}^2=21\%$). Alltså var Medelsonddjupet inom respektive provyta den parameter med minst variation inom vattenkartans fuktklasser, samtidigt som medelsonddjupet förklarar relativt stor del av markbärigheten nära vattendrag. Detta bör vara den främsta faktorn till att vattenkartan kan beskriva markbärigheten. Att medelsonddjup, som är en indikation på hur "armerad" de översta 80 centimetrarna av jorden är, kan beskriva markbärigheten tyder på att denna armering av jorden är kopplad till bärigheten. Framtida studier kan visa att medelsonddjupet i marken korrelerar väldigt bra mot en viss typ av körskada, i så fall skulle studerad vattenkarta alltså kunna fungera som ett bra verktyg för att minska risken att åstadkomma en sådan typ av körskada. Denna infallsvinkel ligger dock utanför studiens avgränsningar och är således inget som analyserats närmare. Markfukten, som med studiens modell förklarade ca 41 % av variationen i markbärighet, kan i studien förklaras till ca 9 % av vattenkartan. Den del av markbärigheten som förklaras av markfukten fångas alltså inte upp lika bra upp av vattenkartan. Det tyder på att markfukten har stor naturlig variation inom vattenkartans fuktklasser och håller, för vattenkartans förmåga att beskriva markbärigheten nära vattendrag, en utvecklingspotential. Dock uppnåddes ej kravet på normalfördelning för denna modell (Ekvation 6), vilken gör att denna slutsats bör kontrolleras via ytterligare studier.

Resultaten påvisar en distinktion mellan fuktklasserna "Torr-Frisk" samt "Något Fuktig-Fuktig", gällande vattenkartans förmåga att beskriva medelsonddjupet. Det fanns varken signifikant skillnad mellan de två första klasserna eller de två sista. Något som till viss del är naturligt och något man bör kunna förvänta sig, då klasserna angränsar till varandra. Vattenkartans klasser "Något Fuktig" & "Fuktig" har dessutom relativt stor spridning i dess representation av medelsonddjupet (Figur 9). Detta tyder på att dessa, vid utveckling av vattenkartan, eventuellt skulle kunna delas upp i fler klasser om man vill prediktera medelsonddjupet. Fuktklasserna "Torr" & "Frisk" visar relativt liten spridning och kan istället slås samman. Resultaten påvisar en distinktion mellan fuktklasserna "Torr-Frisk" och "Något Fuktig-Fuktig" även för fler parametrar. I tabellen som beskriver parametrarnas statistiska signifikans mellan fuktklasserna (tabell 3) visas att det i flertalet fall saknas signifikant skillnad mellan klasserna "Torr-Frisk" samt "Något fuktig-Fuktig". Detta betyder att dessa fuktklasser, i kartans nuvarande utformning och för att beskriva de parametrar där statistisk signifikans saknades mellan fuktklasserna, kan slås samman för att med statistisk säkerhet kunna beskriva respektive parameter. Vid utveckling av vattenkartan bör det även undersökas hur en uppdelning till fler fuktklasser skulle påverka förmågan att fånga upp den naturliga variationen som finns i marken nära

vattendrag. Påpekas bör dock att en uppdelning i fler fuktklasser potentiellt kan medföra mindre önskvärda effekter, såsom ökad känslighet mot förändringar över tiden. Något som också bör undersökas i framtida studier. Resultaten av studien säger ingenting om hur spridningen av de olika parametrarna är fördelade inom fuktklasserna. Framtida studier bör därför undersöka ifall "gränserna" för vad som bedöms höra till fuktklass "Torr", "Frisk" etc. med fördel kan flyttas, för att på så vis förbättra vattenkartans förmåga att beskriva respektive parameter. Ytterligare en åtgärd för att förbättra vattenkartans förmåga att beskriva vald parameter skulle vara att inkorporera fler variabler i kartan, som hjälper till att förklara respektive parameter. Exempel på en sådan parameter är jordart, viken eventuellt skulle hjälpa till att beskriva det som i studien kallats "medelsonddjup". Dock finns idag inte tillräckligt noggranna data över jordarten att tillgå på ett lättillgängligt sätt.

En faktor som kan påverka resultaten är det faktum att vattenkartan, för att vara praktiskt användbar, är statisk och representera alla tider av året då kartan används. Verkligheten å andra sidan är att förhållandena är dynamiska och förändras över tiden, vilket gör vattenkartan känslig för förändringar över tiden. Detta i kombination med att denna studie är gjord under en specifik tidpunkt med låga vattenflöden, för att säkerställa att inventerade vattendrag är vattenhållande året om, påverkar resultaten på så vis att de endast speglar denna torra period. För att komma runt detta skulle vattenkartan behöva bli dynamisk, ett sätt att uppnå detta är att skapa olika kartor för olika årstider. Detta bör tas i beaktande och analyseras vidare i framtida studier. En aspekt som är direkt kopplad till resultaten är även den statistiska metoden. OLS-regression anses av vissa inte vara den bästa metoden för att analysera data med kategorisk-ordinal variabel, vilket variabeln som representerar vattenkartans fuktklasser räknas till. Anledningen till att metoden använts är att den ändå anses vara en väldigt robust metod. Vid framtida studier i ämnet bör man därför även titta på alternativa statistiska metoder såsom logistisk regression. Vattenkartan som ingått i analysen har en upplösning på 3 x 3m, upplösningen på fält-data är 2 x 2m. Detta utgör en statistisk felkälla i analysen då det bland annat innebär att värdena från en och samma provyta kan få representera två olika fuktklasser.

Parametrarna

Vid fältmätning av markfukten visades instrumentet som använts vara känsligt för kraften användaren tryckte ned metallstavarna med. Särskilt på lite torrare torv-mark kunde utslaget variera stort. Även instrumentet som använts för att registrera markbärigheten bedöms besitta osäkerheter. Instrumentet är ursprungligen framtaget för att mäta bärigheten på olika djup i snö (Clark, et al., 1973) och använder sig av en yta på ca 12,6 cm² för att beräkna markbärigheten. Detta gör det svårt att fånga upp den totala bärande faktor som utgörs av exempelvis rötter, sten och block. Att träffa en blöt rot med konen innebar till exempel ofta att den vid nästa slag gled åt sidan och förbi roten, vilket potentiellt försummar rotens påverkan på markbärigheten. Att utveckla metoder som bättre mäter markbärigheten i skog är därför nyttigt för vidare studier.

Edlund (2012) påvisar i liknande studie att det är relativt svårt att beskriva variationen i markbärigheten, med hjälp av såväl en vattenkarta som med andra parametrar. I Edlunds studie kunde 12,5 % av markbärighetens variation förklaras av fukthalten (fältmätt) i marken. Med parametrar framtagna ur vattenkarta kunde 16 % förklaras. Den bästa förklaringsgraden uppnåddes genom att kombinera; fältmätt markfuktighet, parametrarna ur vattenkartan, samt befintlig

skogsregisterdata i Least Square Regression. Då uppnåddes $R^2=31,1\%$ (Edlund, 2012). Gällande hur väl markbärigheten kan förklaras av fältmätt markfukt hade alltså modellen i den här studien ca 28 % högre förklaringsgrad. Medan förklaringsgraden ur modellen där vattenkartan beskriver markbärigheten låg ca 8 % lägre.

Slutsats

Resultaten i studien påvisar att det med studerad vattenkarta går att beskriva markbärigheten nära vattendrag, då statistisk signifikant skillnad i markbärighet hittades mellan alla klasser utom "Torr" och "Frisk". Dock påvisar resultaten även att det är svårt att beskriva markbärigheten med någon högre noggrannhet. OLS-regression gav en förklaringsgrad på ca 8 %. Allt för många variabler påverkar markbärigheten nära vattendrag och fuktklasserna som vattenkartan är indelad i har svårt att fånga upp den stora naturliga variationen i marken. För att möjliggöra utveckling av vattenkartans förmåga att beskriva bärigheten i marker nära vattendrag behövs vidare studier. Resultaten påvisar att medelsonddjup, den organiska ythorisontens tjocklek och markfukt är, av de studerade, de faktorer som förklarar markbärigheten nära vattendrag bäst. Vid framtida studier för utvecklingen av vattenkartan bör därför fokus ligga i riktning mot att bättre beskriva dessa. Framförallt markfukten eftersom den förklarades sämst av de studerade parametrarna. Förslagsvis genom att flytta gränserna för – eller minska, klassintervallen och/eller skapa olika vattenkartor för olika tider på året. Målet är att bättre fånga upp den naturliga variationen som visats finnas i marker nära vattendrag.

Det bör även undersökas djupare i vad som faktiskt påverkar bärigheten i marken, då riktat mot skogsmark nära vattendrag. Kan sådana parametrar identifieras och inkorporeras i kartan kan de hjälpa till att förklara den naturliga variationen som finns i marker nära vattendrag. Här finns även brist på lämpliga instrument för mätning i fält. Vidare studier bör även analysera djupare i alternativa statistiska metoder.

REFERENSER

Ahtiainen, M., 1991. The effects of forest clear-cutting and scarification on the water quality of small brooks. *Hydrobiologica*, pp. 465-473.

Akay, A. E., Sessions, J. & Aruga, K., 2007. Designing a forwarder operation considering tolerable soil disturbance and minimum total cost. *Journal of Terramechanics*, Volym 44, pp. 187-195.

Anon., u.d. www.skogsstyrelsen.se. [Online]

Available at: <http://www.skogsstyrelsen.se/Aga-och-bruka/Skogsbruk/Skador-pa-skog/Korskador/>
[Använd 15 09 2014].

Bengtsson, J., Nilsson, S. G., Franc, A. & Menozzi, P., 2000. Biodiversity, disturbance, ecosystem function and management of European forests. *Forest Ecology and Management*, Volym 132, pp. 39 - 50.

Berglund, A., 2009. *Tjäle - en litteraturstudie med särskilt fokus på tjällossning*, Luleå: Universitetstryckeriet.

Berg, R. o.a., 2010. *Förslag till en gemensam policy angående körskador på skogsmark för svenskt skogsbruk*, Uppsala: Uppsala Science Park.

Bodin, A., 1999. Development of a tracked vehicle to study the influence of vehicle parameters on tractive performance in soft terrain. *Journal of Terramechanics*, Volym 36, pp. 167-181.

Chatterjee, S. & Hadi, A. S., 2006. *Regression Analysis by Example*. Fourth Edition red. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken.

Clark, E. F., Abele, G. & Wuori, A. F., 1973. *EXPEDIENT SNOW AIRSTRIP CONSTRUCTION TECHNIQUE*, HANOVER, NEW HAMPSHIRE: CORPS OF ENGINEERS, U.S. ARMY.

Edlund, J., 2012. *Harvesting in the Boreal Forest on Soft Ground*, Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning.

Eriksson, A., 2015. *Planerare BillerudKorsnäs* [Intervju] (18 03 2015).

FSC, S., 2010. <https://ic.fsc.org/national-standards.247.htm>. [Online]

Available at: <http://ic.fsc.org/download.fsc-std-swe-02-02-2010-en.1703.htm>
[Använd 20 01 2015].

Helsel, D. R. & Hirsch, R. M., 2002. Statistical Methods in Water Resources. i: *Techniques of Water Resources Investigations, Book 4, chapter A3*. . U.S. Geological Survey. 522 pages. red. u.o.:U.S. Geological Survey., p. 522 pages.

Klvac, R., Vrana, P. & Jirousek, R., 2010. Possibilities of using the portable falling weight deflectometer to measure the bearing capacity and compactation of forest soils. *Journal of forest science*, 56(3), pp. 130-136.

Kuglerova, L., Ågren, A., Jansson, R. & Laudon, H., 2014. Towards optimizing riparian zones: Ecological and biochemical implications for forest management. *Forest Ecology and Management*, Volym 334, pp. 74 - 84.

Larsson, M., 2014. Tema Markskador. *SkogsEko*, 5, pp. 10-17.

Larsson, R., 2008. *Jords egenskaper*. 5 red. Linköping: Statens geotekniska institut.

Laudon, H. o.a., 2009. Response of Dissolved Carbon following Forest Harvesting in a Boreal Forest. *Journal of Human Environment*, 38(7), pp. 381-386.

Lindskog, G., Rengmark, F., Flodin, N. & Brink, R., 1988. *Geoteknik*. 4:e red. Arlöv: Esselte Studium AB.

Liu, K., Ayers, P., Howard, H. & Anderson, A., 2010. Influence of soil and vehicle parameters on soil rut formation. *Journal of Terramechanics*, Volym 47, pp. 143-150.

Ljunglöf, J., 2015. *GIS expert och projektledare på COWI Forestry i Kongsberg, Norge* [Intervju] (16 04 2015).

Magnusson, T., 2009. *Skogsskötselserien — Skogsbruk – mark och vatten*, u.o.: Skogsstyrelsens förlag.

Miller, J. D. & Gaskin, G. J., 1996. Measurement of Soil Water Content Using a Simplified Impedance Measuring Technique. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 63(2), p. 153–159.

Moehring, D. H., 1970. Forest soil improvement through cultivation. *Journal of Forestry*, 68(4), pp. 328 - 331.

Murphy, P. o.a., 2009. A geospatial and temporal framework for modeling gaseous N and other N losses from forest soils and basins, with application to the Turkey Lakes Watershed Project, in Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management*, Volym 258, pp. 2304-2317.

Murphy, P., Ogilvie, J. & Arp, P., 2009. Topographic modelling of soil moisture conditions: a comparison and verification of two models. *European Journal of Soil Science*, Volym 60, pp. 94-109.

Nugent, C. o.a., 2003. Characteristic site disturbance due to harvesting and extraction machinery traffic on sensitive forest sites with peat soils. *Forest Ecology and Management*, Volym 180, pp. 85 - 98.

Ogilvie, J. o.a., 2011. *Introduction to wet-areas mapping (WAM): creating new and innovative base layers for rural, municipal and urban planning from digital elevation models (DEMs)*. Mérida, Venezuela: CONGRESS FOR SATELLITE SOLUTIONS ENGINEERING AND ENVIRONMENT.

PEFC, S., 2012. <http://pefc.se/dokument/>. [Online]
Available at: <http://pefc.se/wp-content/uploads/2010/11/n-pefc%20swe%20002%20-%20svensk%20pefc%20skogsstandard%20120801.pdf>
[Använd 20 01 2015].

Skogsvårdslagstiftningen, 2012. [www.Skogsstyrelsen.se](http://www.skogsstyrelsen.se). [Online]
Available at: <http://www.skogsstyrelsen.se/Global/PUBLIKATIONER/svl/4645803-5de4e4->

SVL_2012.pdf

[Använd 20 01 2015].

SLU, 2013. *Fältinstruktion 2013 Riksinventeringen av skog*. Umeå Uppsala: SLU.

SMHI, u.d. [www.SMHI.se](http://www.smhi.se). [Online]

Available at: <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=n&sc=rcp85&seas=ar&dnr=99&sp=sv&sx=73&sy=162#area=swe&dnr=99&sc=rcp85&seas=ar&var=n>

[Använd 16 01 2015].

Staland, F. & Larsson, K., 2002. *Bra planering och rätt teknik minskar risken för markskador*. Uppsala: Skogforsk.

Sällfors, G., 2009. *Geoteknik, Jordmateriallära, Jordmekanik..* 4 red. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.

Tomislav Poršinsky, Tibor Pentek, Andreja Bosner and Igor Stankić (2012). Ecoefficient Timber Forwarding on Lowland Soft Soils, Global Perspectives on Sustainable Forest Management, Dr. Dr. Clement A. Okia (Ed.), ISBN: 978-953-51-0569-5, InTech, DOI: 10.5772/34687. Available from: <http://www.intechopen.com/books/global-perspectives-on-sustainable-forest-management/ecoefficient-timber-forwarding-on-lowland-soft-soils>

Turner, K. R. o.a., 2000. Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy. *Ecological Economics*, Volym 7–23, p. 7–23.

White, B. o.a., 2013. Using the Cartographic Depth-To-Water Index to Locate Small Streams and Associated Wet Areas across Landscapes. *Canadian Water Resources Journal*, 37(4), pp. 333-347.

Williamson, J. R. & Neilsen, W. A., 2000. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 30(8), pp. 1196-1205.

Ågren, A. M. o.a., 2014. Evaluating digital terrain indices for soil wetness mapping— a Swedish case study. *Hydrology and Earth Science*, Volym 18, pp. 3623-3634.

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2014:25 Författare: Torun Bergman
Markanvändning och ekosystemtjänster i en gradient från borealt till alpint landskap – Vilhelmina Model Forest
- 2014:26 Författare: Molly Nord Gårdman
Enskilda privata skogsägares inställning till skogsgödsling i Västerbottens län
-
- 2015:1 Författare: Anders Henriksson
Kan markfuktighetskartor användas för att hitta skogsmark med hög bonitet? – Ett GIS-baserat försök med DTW-index och laserskannad övre höjd
- 2015:2 Författare: Louise Magnusson
Markberedning i blockrik terräng – En jämförelse mellan grävmaskin och harv
- 2015:3 Författare: Julia Ingelmark
Död ved i vattendrag och kantzon, Blå målklassning och NPK+ - En studie av förhållandena på Villingsbergs skjutfält
- 2015:4 Författare: Malin Boström
Do 25 years old skid tracks restrict growth and survival? – A study on growth conditions for the planted regeneration in a rainforest rehabilitation project
- 2015:5 Författare: Mikael Kullström
Naturligt förnygrade huvudstammar i röjda bestånd etablerade efter plantering på SCAs mark
- 2015:6 Författare: Sara Waern
Återskapande av biodiversitet i degraderad sekundär regnskog i Sabah, Malaysia – naturlig förnygring av träd efter restaureringsåtgärder
- 2015:7 Författare: Sandra Laestander
”Den kemiska bekämpningen av skadlig lövskog har öppnat helt nya vyer för skogsbruket” – Flygbesprutning med herbicider i Arjeplog 1953-1978
- 2015:8 Författare: Simon Bylund
Algbiomassa som gödselmedel till gran och tall
- 2015:9 Författare: Anton Wikman
Ekarna på Tullgarn – En studie om ekförekomstens utveckling och framtid
- 2015:10 Författare: Joakim Jansson
Rehabilitation in a tropical secondary rain forest in Malaysian Borneo – Early effects of canopy properties on light conditions at the forest floor
- 2015:11 Författare: Adam Klingberg
Tillväxt, överlevnad och skador för provenienser av Banksianatall (*Pinus banksiana*, Lamb.) i norra Sverige
- 2015:12 Författare: Rasmus Häggqvist
Skötselplan för Gammliaaskogen
- 2015:13 Författare: Elisabet Ekblad
Förutsättningar för naturhänsyn i bestånd med contortatall (*Pinus contorta*)

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se